



Carlos José Brás Geraldes

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Doutorado em Ciências da Vida - Saúde das Populações (Bioestatística)

Redes de Comunicações de Emergência e Segurança

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre ao abrigo do programa “Para
ser Mestre” por licenciados “pré-Bolonha” em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador: Luis Bernardo, Professor,
Universidade Nova de Lisboa

Júri

Presidente: Prof. Doutora Maria Helena Fino

Arguentes: Prof. Doutor Luis Filipe Lourenço Bernardo

Prof. Doutor Paulo Miguel de Araújo Borges Montezuma Carvalho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março, 2018

Redes de Comunicações de Emergência e Segurança

Copyright © Carlos José Brás Geraldes, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Luis Bernardo por ter tido a amabilidade de ser meu orientador neste trabalho.

À minha esposa, filhas e pais pelo apoio que sempre me deram.

RESUMO

Este trabalho pretende fazer uma retrospectiva do trabalho do autor, envolvido na concepção do Sistema Integrado das Redes Nacionais de Emergência e Segurança de Portugal (SIRESP) entre os anos 1996 e 2001. Para um melhor entendimento dos fundamentos desse projeto, o relatório também aborda alguns aspectos da norma de telecomunicações Trans European TERrestrial Trunked RAdio (TETRA) que serviu de base a boa parte das redes de comunicações de emergência e segurança na Europa e em particular ao SIRESP. Encontram-se também descritos os projetos e as funções mais importantes da sua carreira, que cobrem um largo espectro da Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, onde se incluem a concepção de redes de telecomunicações de âmbito nacional, a implementação e gestão de um Centro de Informática e de Telecomunicações e a investigação na área da Inteligência Artificial. Este relatório foi redigido com o objetivo de provar que o autor possui as qualidades técnicas e a maturidade para obter o grau de Mestre ao abrigo do Despacho de 12-2011 da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, no programa designado por "Para ser Mestre".

Palavras-chave: SIRESP, rede de comunicações de emergência e segurança, TETRA

ABSTRACT

This report intends to make a retrospective of the author's work, which was involved in the design of the Portuguese Public Safety Network, Sistema Integrado das Redes Nacionais de Emergência e Segurança de Portugal (SIRESP) between 1996 and 2001. For a better understanding of the fundamentals of this project, the report also addresses some aspects of the Trans European TERrestrial Trunked Radio (TETRA) telecommunications standard which served as the basis for much of the emergency and safety communications networks in Europe and in particular to SIRESP. Other important projects and functions of his career, are also described, covering a broad spectrum of the Electrical and Computer Engineering discipline. Among these, are included the conception of nation wide telecommunications networks, the implementation and management of an Informatic and Telecommunication Center, and the research in the field of Artificial Intelligence. This report was written in order to demonstrate that the author acquired technical skills and maturity to obtain the Master degree in Electrical and Computer Engineering under the Order of 12-2011 of the Faculty of Sciences and Technology of the New University of Lisbon in the program "Para ser Mestre".

Keywords: SIRESP, Public Safety Network, TETRA

ÍNDICE

Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Glossário	xvii
1 Introdução	1
1.1 Estado da arte das redes de comunicações das forças de emergência e segurança portuguesas	1
1.2 Contribuição para o projeto SIRESP	2
2 Projeto SIRESP	5
2.1 Planeamento da componente rádio da rede de comunicações de emergência e segurança	5
2.1.1 Cobertura Radioelétrica	5
2.1.2 Dimensionamento dos canais de voz	7
2.1.3 Normas de Telecomunicações	8
2.1.4 Plano de frequências	13
2.1.5 Modos de operação	13
2.1.6 Centro de comando e controlo e centro de despacho	16
2.1.7 Ligações ponto a ponto	17
2.1.8 Disponibilidade	19
2.2 Resultados	19
2.2.1 Arquitetura da rede SIRESP	19
2.2.2 Modelo institucional	21
2.3 A rede atual do SIRESP	22
2.4 Perspectiva futura das redes de comunicações das forças de emergência e segurança	23
3 Outros projetos	25
3.1 Outros projetos	25
3.1.1 Consultoria na área das Telecomunicações	25

3.1.2	Chefia da Divisão de Informática e Telecomunicações da Faculdade de Ciências Médicas	25
3.1.3	Investigação na área da Inteligência Artificial	26
3.1.4	Outras atividades	28
4	Conclusões	29
	Bibliografia	31
A	Resumo do percurso profissional	33
B	Resumo do percurso académico	37
I	Documentos complementares do <i>Curriculum Vitae</i>	41
I.1	Maxitel SA	41
I.2	GEPI/MAI	41

LISTA DE FIGURAS

2.1	Exemplo de um diagrama de radiação horizontal de uma antena omnidirecional.	6
2.2	Alguns dos factores que influenciam a dimensão da célula (altura da antena e <i>downtilt</i>)	6
2.3	Exemplo de modelo de cobertura (aferido) de uma estação base TETRA (Pedrógão Grande) retirado de [1].	7
2.4	Esquema de multiplexagem FDMA.	9
2.5	Exemplo da estrutura de multiplexagem TDMA, base da norma TETRA.	10
2.6	<i>Layout</i> de uma rede com um <i>cluster</i> de dimensão 4	13
2.7	<i>Direct Mode Operation</i> - Modo <i>Back To Back</i>	14
2.8	<i>Direct Mode Operation</i> - Modo <i>Repeater</i>	15
2.9	<i>Direct Mode Operation</i> - Modo <i>Dual Watch</i>	15
2.10	<i>Direct Mode Operation</i> - Modo <i>Gateway</i>	16
2.11	Centro de comando e controlo da rede de comunicações	17
2.12	Exemplo de um perfil de ligação por feixes hertzianos retirado de [1]	18
2.13	Rede atual do SIRESP	23
3.1	Estimativa da função parcial e respetivo intervalo de confiança a 95%, obtidos a partir de uma GANN Aranda, traduzindo a associação entre a frequência cardíaca (número de batimentos por minuto - BPM) e o evento morte. A linha vertical representa o mínimo desta função ($x_{frc} = 74$ BPM).	27
I.1	Declaração de participação do autor deste relatório, como consultor da Maxitel SA. no âmbito do licenciamento de tecnologia FWA.	42
I.2	Declaração sobre o conjunto de iniciativas em que o autor destes trabalho participou.	43

LISTA DE TABELAS

2.1	TETRA <i>versus</i> TETRAPOL	12
2.2	Distribuição das quantidades estimadas de terminais por entidade integradora da rede SIRESP.	19
2.3	Cenário A no Continente que inclui 550 BS e 5 DXT regionais.	20
2.4	Cenário A na Região Autónoma da Madeira que inclui 15 BS e 1 DXT.	21
2.5	Cenário A na Região Autónoma dos Açores que inclui 35 BS e 1 DXT.	21
2.6	Cenário E que inclui 400 BS e 5 DXT regionais no Continente.	22

GLOSSÁRIO

ACELP	<i>Algebraic code-excited linear prediction .</i>
APCO	<i>Association of Public-Safety Communications Officials-International .</i>
BS	<i>Base Station .</i>
C4FM	<i>Continuous 4-level Frequency Modulation .</i>
D8PSK	<i>Differential 8-Phase Shift Keying.</i>
DMO	<i>Direct Mode Operation.</i>
DQPSK	<i>Differential Quadrature Phase Shift Keying .</i>
DXT	<i>Digital Exchange for TETRA.</i>
EDACS	<i>Enhanced Digital Access Communication System.</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standard Institute .</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access .</i>
FFSK	<i>Fast Frequency Shift Keying - idem FSK .</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying .</i>
GANN	<i>Rede Neuronal Aditiva Generalizada .</i>
GANN Aranda	<i>GANN com função de ligação paramétrica pertence à família de funções assimétricas de Aranda-Ordaz .</i>
GEPI	<i>Gabinete de Estudos e de Planeamento de Instalações .</i>
GFSK	<i>Gaussian frequency-shift keying .</i>
GOS	<i>Grade Of Service .</i>
GPS	<i>Global Positioning System .</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications .</i>
H-DQPSK	<i>Harmonized Differential Quadrature Phase Shift Keying .</i>

GLOSSÁRIO

HSPA	<i>High Speed Packet Access .</i>
ICP	Instituto de Comunicações de Portugal - Antiga denominação da atual Autoridade Nacional de Comunicações .
IP	Internet Protocol .
LTE	<i>Long Term Evolution .</i>
MAI	Ministério da Administração Interna .
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output .</i>
MTBF	<i>Mean Time Before Failure .</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair .</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing .</i>
PBX	<i>Private Branch Exchange .</i>
PIDDAC	Programa de Investimentos e Despesas de Desenvolvimento da Administração Central.
PTT	<i>Push-To-Talk.</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation .</i>
SIRESP	Sistema Integrado das Redes Nacionais de Emergência e Segurança de Portugal. Também é a designação do consórcio atual que gere a rede com o mesmo nome .
TDMA	<i>Time Division Multiple Access .</i>
TETRA	TErrestrial TRunked RAdio.
TETRAPOL	<i>TETRA for POLice .</i>
TMO	<i>Trunked Mode Operation .</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency .</i>
VHF	<i>Very High Frequency .</i>

INTRODUÇÃO

1.1 Estado da arte das redes de comunicações das forças de emergência e segurança portuguesas

A década de 90 foi de grande importância para a disciplina das Telecomunicações, apresentando como pano de fundo a liberalização do mercado das comunicações. Nesta altura assistiu-se à abertura controlada do acesso ao espectro radioelétrico, bem como à introdução de novos conceitos, metodologias e serviços nesta área.

No entanto, apesar dos avanços tecnológicos que se instalavam no plano das comunicações para uso civil, no plano das comunicações de emergência e segurança existia um grande atraso, nomeadamente nas tecnologias de radiocomunicações em que as forças de segurança eram as principais consumidoras.

Este *gap* entre os dois mundos tecnológicos (o civil e o militar) refletia-se na capacidade operacional das forças de emergência e segurança, tornando-as mais vulneráveis à devassa externa. O facto das comunicações ainda serem efetuadas em canal aberto, ou dependentes de um *scrambler* analógico com código fixo, fácil de quebrar, fazia com que a escuta da atividade de emergência e segurança fosse algo trivial.

Por outro lado, as tecnologias para uso civil, nomeadamente o **GSM**, não ofereciam algumas das funcionalidades cruciais à atividade policial, como por exemplo, a função de *Walkie-Talkie* bastante necessária na atividade. A utilização de um serviço de uma operadora civil também poderia apresentar problemas. Não sendo possível o enquadramento direto da atividade policial na operação da rede de telecomunicações, como garantir a segurança da operação policial no terreno?

Assim, os serviços de operador **GSM** em operações policiais eram apenas utilizadas como expediente em situações em que a tecnologia de radiocomunicações disponível demonstrava ser insuficiente.

Para além do problema óbvio que o atraso tecnológico oferecia em termos operacionais, há também a destacar o plano orçamental. Nesta perspectiva, a aquisição de infraestrutura e equipamentos à medida de dotações orçamentais anuais exíguas teve como consequência a aquisição parcelar de redes com normas proprietárias diferentes, de tal forma, que as comunicações nas forças de segurança e emergência mais se assemelhavam a uma manta de retalhos. Assim era o caso, por exemplo, da Polícia de Segurança Pública, em que a rede rádio utilizada em Lisboa era incompatível com a explorada no Porto. Este problema acabava não só por se traduzir em custos avultados (pelo facto de ambos os sistemas serem proprietários) como também na impossibilidade de otimizar os recursos sempre que era necessária a deslocação de efetivos de uma cidade para outra.

As baixas dotações orçamentais anuais (que obrigavam à aquisição dos equipamentos por fases), tinham como resultado, a longo prazo, a aquisição de equipamento por ajuste direto, por não ser possível outra opção. Efetivamente, numa primeira fase, que coincidia com a compra da infraestrutura, o Estado era "capturado" numa solução proprietária, perdendo assim, nos anos seguintes a vantagem da competição de mercado, com a obrigatoriedade do ajuste direto (envolvendo grandes montantes), muitas vezes sem direito a descontos de escala.

Dada a sua posição privilegiada na concepção de projetos e na aquisição de equipamentos, o Gabinete de Estudos e de Planeamento de Instalações do Ministério da Administração Interna ([GEPI/MAI](#)) veio a desempenhar um papel fundamental na orientação do investimento público, na área das redes de comunicações de emergência e segurança, de modo a torná-lo mais racional. Com efeito, este Gabinete já em 1996 tinha demonstrado a sua excelente produtividade na gestão e execução do [PIDDAC](#) das forças de emergência e segurança no capítulo da construção e remodelação de esquadras e quartéis, pelo que lhe foi também atribuída igual competência na área da concepção e execução de projetos relacionados com a disciplina de Informática e Telecomunicações.

1.2 Contribuição para o projeto SIRESP

O autor deste relatório, doravante designado por Autor, entrou no [GEPI/MAI](#) em 1996, ficando como responsável pela gestão de projetos no âmbito do [PIDDAC](#) para as forças de emergência e segurança, entre 1996 até à sua saída, no ano 2000. A sua função compreendia, entre outras, o estudo e recolha das necessidades tecnológicas dos beneficiários do [PIDDAC](#), a elaboração do Caderno de Encargos em colaboração com os serviços destinatários, a avaliação das propostas na qualidade de membro do júri dos concursos públicos resultantes, e a execução dos projetos finais. De igual forma participava na elaboração de estudos para o suporte de políticas no âmbito da organização da segurança interna.

O primeiro projeto dentro desta área a ser orientado pelo [GEPI/MAI](#) (em que o Autor participou na sua definição, contratualização e implementação) foi o da concepção e aquisição de uma rede de comunicações da PSP para os distritos do Porto e Coimbra, que dado o contexto enunciado das redes de comunicações das forças de emergência e

segurança, passou a ser vista como uma oportunidade para a implementação de um novo paradigma que implicava a escolha de uma solução que se baseasse num *standard* aberto.

Assim, o Autor, protagonizou um conjunto de iniciativas, sob a coordenação do Diretor do GEPI/MAI entre os anos 1996 e 1999, que levou à Resolução de Conselho de Ministros n.º 88/99, de 22 de Julho que instituiu a visão de uma rede única e partilhada. Neste sentido, o Autor elaborou uma série de estudos, visitas a vários congéneres europeus (ver Anexo I, fig. I.2), que incluiu a participação num fórum informal de discussão europeu sobre a temática das redes de emergência e segurança no âmbito do Shengen, em representação de Portugal. De igual modo procedeu ao levantamento e recolha de elementos nas várias forças de segurança e emergência de modo a sustentar os relatórios enviados à tutela, nomeadamente ao Secretário de Estado do Ministério da Administração Interna.

No entanto, apesar da visão enunciada, seria necessário convencer os *stakeholders* que, inicialmente, apresentaram, algumas reticências à mudança de paradigma. Assim, uma vez que o rumo deste projeto não era consensual, houve que percorrer um caminho para demonstrar a exequibilidade da visão de forma a se poder utilizar este projeto como protótipo para a construção de uma rede mais ampla, de âmbito nacional, sobre uma norma de telecomunicações aberta.

Após esse percurso a rede de comunicações de emergência e segurança é consagrada através da Resolução de Conselho de Ministros atrás referida. A maior parte das orientações da Resolução [14] foram fruto do trabalho do Autor desenvolvido no GEPI/MAI ao longo dos 3 anos anteriores, pelo que o Autor ficou como responsável do projeto que iria conduzir à definição do SIRESP. No entanto, por motivos profissionais, o Autor saiu do GEPI/MAI em Março de 2000, pelo que no grupo de trabalho nomeado pelo despacho n.º 3645/2001, de 26 de Janeiro de 2001, de Sua Excelência o Secretário de Estado Adjunto do Ministro da Administração Interna, publicado em 21 de Fevereiro de 2001, no Diário da República n.º 44 – II Série (doravante designada por Grupo de Trabalho), o Autor foi integrado na qualidade de consultor técnico.

O grupo nomeado, deu assim continuidade ao trabalho já anteriormente realizado pelo Autor, começando pela definição da designação da rede de comunicações de emergência e segurança, que doravante passaria a ser designada por Sistema Integrado das Redes Nacionais de Emergência e Segurança de Portugal (SIRESP). Seguindo as linhas orientadoras definidas na Resolução [14], o Grupo de Trabalho centrou-se na definição do modelo a implementar inspirado nos projetos europeus Astrid (Bélgica), C2000 (Holanda) e Virve (Finlândia).

O Grupo de Trabalho procedeu à elaboração de um relatório [5] onde foram definidas várias propostas para serem colocadas à decisão da tutela, encontrando-se resumidas no próximo capítulo como resultados do projeto SIRESP. Também nesse capítulo são abordados os diferentes aspectos técnicos mais importantes para a definição de uma rede de comunicações de emergência e segurança. O capítulo termina com uma breve descrição da rede atual do SIRESP e uma perspectiva futura quanto às redes de comunicações de

emergência e segurança face às tecnologia de quarta geração (4G) [LTE](#).

Importa, no entanto, realçar, que pouco tempo depois da entrega e discussão do relatório houve uma mudança de Governo, que conduziu ao afastamento dos principais intervenientes no processo de definição do [SIRESP](#), pelo que o projeto prosseguiu a partir de então, um rumo próprio. O percurso entre os cenários propostos à tutela e a rede atual é desconhecido pelo Autor.

No capítulo [3](#) é abordado o restante percurso profissional, finalizando com a descrição do trabalho do Autor na área da investigação no tema das metodologias de Inteligência Artificial aplicadas à medicina.

No Apêndice [A](#) encontra-se um resumo do seu percurso profissional, e no Apêndice [B](#) um resumo do seu percurso académico.

PROJETO SIRESP

2.1 Planeamento da componente rádio da rede de comunicações de emergência e segurança

O projeto de uma rede comunicações e emergência é semelhante ao de uma rede para fins de utilização civil, diferenciando-se no reforço da garantia da fiabilidade, resiliência e confidencialidade das comunicações. Alguns dos serviços básicos necessários incluem a disponibilização de um serviço **PTT**, de criptofonia, de localização de terminais e de serviço de envio/recepção de mensagens de texto. A mais baixo nível, existem ainda outros aspectos técnicos importantes que iremos apresentar nas secções seguintes.

2.1.1 Cobertura Radioelétrica

Uma rede de telecomunicações desta natureza pode ser projetada como uma rede celular, no aspecto em que a área geográfica é igualmente coberta com recurso a antenas repetidoras de sinal. A área de cobertura corresponde a uma célula, centrada na antena e cuja dimensão depende essencialmente, da relação entre as potências dos sinais recebido e emitido, dos ganhos das antenas emissoras e receptoras (fig. 2.1), da frequência de serviço, bem como de outros aspectos onde se podem incluir a orientação vertical da antena (fig. 2.2), a orografia do terreno, a densidade da construção existente (*e.g.* meio urbano ou rural), os mecanismos de difração e reflexão, o ruído eletromagnético produzido por outras fontes bem como a proximidade a grandes estruturas metálicas (*e.g.* pontes) [9].

Para a escolha dos locais provisórios, podem-se utilizar simuladores que utilizam modelos de predição da propagação tendo em atenção os factores atrás referidos, como por exemplo o modelo de *Okumura-Hata* [13] para grandes distâncias (acima de 5 km). Estes modelos complementados com mapas digitalizados do local, permitem a visualização dos contornos da cobertura radioelétrica (fig. 2.3).

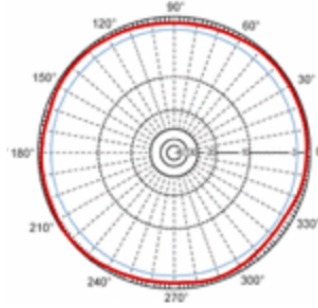


Figura 2.1: Exemplo de um diagrama de radiação horizontal de uma antena omnidirecional.

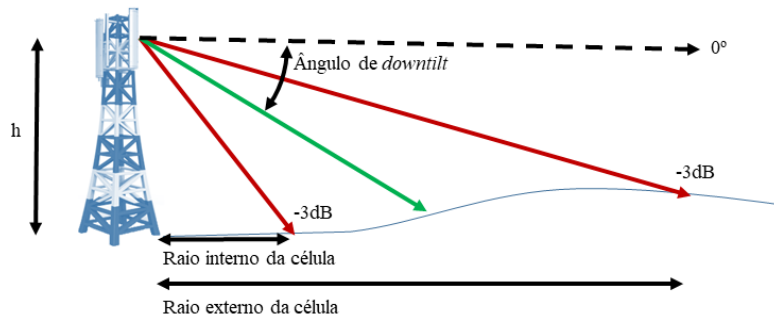


Figura 2.2: Alguns dos factores que influenciam a dimensão da célula (altura da antena e *downtilt*)

Assim, considerando R como sendo o raio da célula a estimar,

$$R = 10^\delta \quad (2.1)$$

em que δ à seguinte expressão [12]:

$$\delta = \frac{L_p - A + 13.82 \log_{10}(h_b) + a(h_m)}{44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)}, \quad (2.2)$$

onde L_p representa a mediana da atenuação da propagação (em dB), A corresponde a um valor fixo de atenuação dependente da frequência de serviço e do tipo de contexto urbano que se pretende cobrir (meio urbano, semi urbano ou rural), h_b é a altura da antena repetidora (em m) e h_m é a altura a que se encontra a estação móvel. O termo $a(h_m)$ representa um fator de correção para a altura da antena móvel. Para sistemas que funcionam em frequências entre os 150 MHz até 1.5 GHz tem-se:

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10}(f_c) - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10}(f_c) - 0.8), \quad (2.3)$$

em que f_c representa a frequência de serviço [2].

No entanto, no caso de uma rede de comunicações estatal, sensível a aspetos de confidencialidade e segurança, os seus componentes deverão estar, tanto o quanto possível,



Figura 2.3: Exemplo de modelo de cobertura (aferido) de uma estação base TETRA (Pedrógão Grande) retirado de [1].

o menos expostos a entidades externas fora do controlo do Estado. Assim, preferencialmente, escolhem-se (sem colocar em causa a qualidade da cobertura), locais que sejam sua propriedade ou que possam ser adquiridos ou alugados.

Na fase de implementação, um dos primeiros pontos da ordem de trabalhos deve passar pela confirmação das estimativas. Para tal, realizam-se medições com base num repetidor de teste, colocado no local previsto, e num terminal móvel instalado em viatura com GPS. Desta forma é possível mapear com uma aproximação mais realista a cobertura radioelétrica e corrigir anomalias imprevistas bem como confirmar algumas especificações da solução (localização do repetidor, altura, orientação e potência da antena).

2.1.2 Dimensionamento dos canais de voz

O número de canais em simultâneo irá determinar o número de portadoras, que tendo em conta o planeamento de frequências, irá influenciar a quantidade de equipamentos, nomeadamente, antenas e estações base (BSs) a instalar. No entanto, é necessário encontrar uma solução de compromisso que estipule um número mínimo de canais em simultâneo, numa determinada célula, sem que seja comprometida a qualidade de serviço pretendido.

Para a estimação deste número pode-se recorrer à estatística de tráfego tendo por base os pressupostos do projeto. A distribuição a utilizar é a *Erlang*, sendo necessário em primeiro lugar inferir os seus parâmetros. Considerando N utilizadores no período de observação, o número de minutos de tráfego gerado (*Trafficmin*) depende do número de chamadas *Calls* no mesmo período e da duração média de uma chamada *AverageDuration*.

$$Trafficmin = AverageDuration \times Calls. \quad (2.4)$$

O tráfego T é medido em unidades de *Erlang*¹ e entra em conta com o período de

¹Uma unidade de *Erlang* representa o número de minutos de tráfego observados durante um período

observação de uma hora (60 minutos):

$$T = \frac{Trafficmin}{60}. \quad (2.5)$$

O tráfego por utilizador T_u , também medido em unidades de *Erlang*, corresponderá assim a:

$$T_u = \frac{T}{N}. \quad (2.6)$$

Uma vez estipulado T_u , como pressuposto do projeto (baseado na experiência do operador), pode-se estimar o tráfego global da célula T que entrará como parâmetro da distribuição.

Outro parâmetro a considerar é o grau de qualidade de serviço (*GOS*) pretendido, que se traduz pela proporção das tentativas de chamada sem sucesso (por ocupação dos canais existentes) sobre o número total de chamadas efetuadas. Dependendo dos custos envolvidos, assume-se uma proporção que seja satisfatória e em que tipicamente $GOS \leq 0.01$ (no máximo uma chamada indisponível para cada 100 chamadas efetuadas).

Concluída a inferência dos parâmetros T e *GOS*, pode-se obter a partir da distribuição *Erlang* o número mínimo de canais em simultâneo, que deverá ser arredondado por excesso para manter uma boa qualidade de serviço. No entanto, é necessário ter presente que para a resolução de problemas que envolvem sistemas simples de telefonia sem listas de espera (e.g. *Gateways* de centrais telefónicas), é usual utilizar-se a distribuição *Erlang B*. Para sistemas que permitam a colocação das chamadas numa lista de espera, a distribuição mais consentânea é a de *Erlang C*, como é o caso dos sistemas baseados na norma *TETRA* que serviu de base ao projeto SIRESP.

Outra especificação importante para a qualidade de serviço consiste no tempo de estabelecimento de uma chamada, que tipicamente não poderá ir além de 500 ms, de modo que em determinadas situações (p.e. *handover*), a interrupção da chamada não seja perceptível pelos intervenientes. No caso da rede SIRESP, tendo em atenção a utilização da norma *TETRA*, o tempo máximo é de 300 ms.

2.1.3 Normas de Telecomunicações

A norma de telecomunicações a ser usada é um dos pontos fundamentais da rede uma vez que inclui não só as características radioelétricas dos equipamentos como também os protocolos de comunicações. Esses protocolos definem a forma como os terminais interagem com o repetidor. Dentro dessa interação encontra-se incluída, por exemplo, a forma como o repetidor aceita a inscrição de um terminal, que pode ser por meio de uma sequência de tons em sistemas analógicos antigos, ou através de procedimentos mais elaborados que formam o "*handshake*" nos sistemas digitais modernos.

limitado.

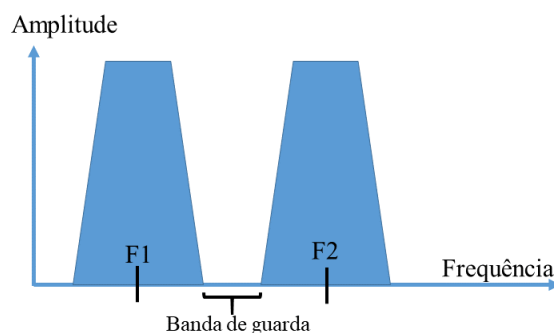


Figura 2.4: Esquema de multiplexagem FDMA.

Todas as características e protocolos reunidos debaixo de uma norma de telecomunicações garantem a compatibilidade dos terminais com a infraestrutura. Se essa norma for aberta permitirá que qualquer fabricante possa produzir equipamentos compatíveis com outros que sigam a mesma norma. No caso da norma ser proprietária, a produção de equipamentos está dependente da concessão dos direitos de autor do fabricante proprietário.

A interoperabilidade foi um dos requisitos fundamentais do SIRESP, que de entre outros factores, depende do método de acesso definido, ou seja, da forma de aproveitamento da banda de frequências atribuída. A banda é dividida em pequenas sub-bandas, cada uma centrada numa frequência portadora. Dependendo da tecnologia, cada portadora poderá incluir um ou mais canais de voz. As normas na base da maioria das redes de comunicações de emergência e segurança (na altura em que se definiu o SIRESP) utilizadas pelas forças de segurança europeias baseavam-se essencialmente nos métodos de acesso:

- **Frequency division multiple access (FDMA)**

A banda de frequências atribuída à rede é subdividida em bandas mais pequenas que irão constituir os canais (ver fig. 2.2). Cada uma dessas bandas possui uma portadora principal centrada por onde a comunicação é veiculada. Assim cada portadora irá corresponder a um canal. Este tipo de sistema possui a vantagem de um *overhead* baixo o que torna mais fácil o processamento das chamadas, resultando em *hardware* e *software* mais simples. No entanto, a principal desvantagem é o desperdício de largura de banda, não só pelo facto de se fazer corresponder um canal a uma e uma só portadora como também de ser necessária a introdução de bandas de guarda para separar os vários canais (fig. 2.4). Além destes aspectos, esta tecnologia é mais permeável a interferências por parte de frequências adjacentes o que requer uma eletrónica mais exigente, nomeadamente no que respeita a filtros de RF.

- **Time Division Multiple Access (TDMA)**

Cada portadora é dividida num número fixo n de intervalos de tempo [10] designados por *slots* (ver fig. 2.5). Cada *slot* corresponde a uma porção de informação transmitida por um utilizador, o que constitui um canal. Assim, por cada portadora faz-se corresponder n slots/canais que constituem 1 trama. Em termos de espectro de frequências

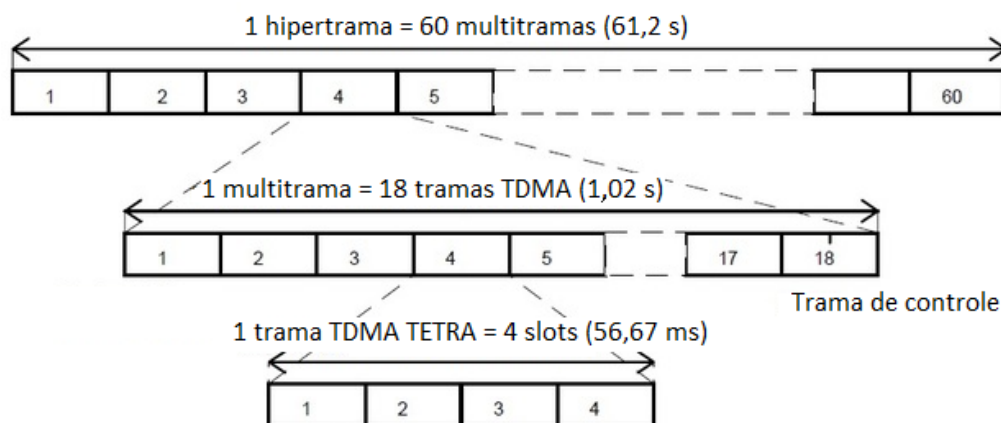


Figura 2.5: Exemplo da estrutura de multiplexagem TDMA, base da norma TETRA.

este sistema é eficiente, além de que abre a possibilidade de integração de serviços de mais alto nível, nomeadamente criptografia, transmissão de dados mais eficiente, mais resiliente ao ruído. No entanto, não está isento de problemas, uma vez que a ligação entre o terminal e a BS depende fortemente da sincronização com um sinal de relógio. Este sinal é responsável por determinar o começo dos *slots* na trama.

Numa versão mais avançada, designada por *Dynamic Time Division Multiple Access* o sistema reserva um número variável de *slots* em cada trama com vista a poder ser utilizada de forma a poder responder a um fluxo variável de dados.

Para a definição do projeto SIRESP foram ponderadas as normas mais populares no mercado dos sistemas de emergência e segurança:

2.1.3.1 APCO

O APCO é um projeto colaborativo que compreende um conjunto de *standards* orientados especificamente para as comunicações de emergência e segurança nos Estados Unidos da América, sendo um dos seus objetivos garantir a interoperabilidade entre sistemas [8].

É na versão 16 (APCO-16) deste projeto, que são baseados os sistemas da Motorola Type II, dos quais se destaca o modelo *Smartzone* (sistema *trunking* analógico), bastante popular nas forças de segurança, em meados dos anos 90.

Em termos evolutivos, há a destacar a versão 25 que direciona a especificação dos sistemas para a adoção do *trunking* digital e que possibilita a incorporação de tecnologias mais avançadas no âmbito da criptofonia, envio de mensagens de texto e localização de terminais.

Nos anos 90, correspondentes à fase 1 da APCO-25, os sistemas eram especificados com base no modo de multiplexagem FDMA, com sub-banda de 12,5kHz e modulação contínua de 4 níveis de FM (C4FM), permitindo a transmissão de dados até 9,6 kbps.

2.1. PLANEAMENTO DA COMPONENTE RÁDIO DA REDE DE COMUNICAÇÕES DE EMERGÊNCIA E SEGURANÇA

Com a fase 2 do APCO-25, mais recente, pretendeu-se introduzir uma maior eficiência espectral. Neste sentido, adotou-se o TDMA com uma trama de 2 *slots* com modulação **H-DQPSK**, para a faixa dos 700 MHz, em modo *trunk* com sub-banda de 12,5KHz, o que equivale a dois canais de voz e dados que ocupam 6,25KHz.

Para além dos Estados Unidos, as normas do APCO-25 são utilizadas em países como Austrália, Nova Zelândia, Brasil, Canadá, Índia e Rússia.

2.1.3.2 **EDACS**

A norma EDACS corresponde a um sistema de rádio *trunk* desenvolvido pela General Electric e pela Ericsson, inventado nos anos 80 e foi maioritariamente implementado em redes de comunicações nos Estados Unidos da América, encontrando-se descontinuada a partir de 2017. O sistema foi desenhado para as bandas **VHF**, **UHF**, 800 MHz e 900 MHz. Possui três modos: *Wideband*; *Narrowband* e *Encrypted*. O primeiro é a forma mais comum e usa um canal *trunking* de 9,6 kbps com sub-banda de 25kHz e o segundo utiliza um canal *trunking* de 4,8kbps de 12,5 kHz [8]. O último modo é uma variante do *Wideband* e utiliza uma trama encriptada. O tipo de modulação deste sistema é **GFSK**.

2.1.3.3 **MPT1327**

A norma foi publicada em Janeiro de 1988 pela *British Radiocommunications Agency* e inicialmente, foi utilizada no Reino Unido, Europa, África do Sul e Austrália, e atualmente, ainda se fabricam equipamentos baseados nela. Os sistemas MPT1327 (*trunking*) são versáteis e podem funcionar nas bandas 176.5 a 184.5 MHz, 201.5 a 207.5 MHz, 420 a 440 MHz e na faixa dos 800 MHz, podendo utilizar uma sub-banda de 6.25KHz, 12.5KHz ou 25 kHz. Embora este sistema não empregue algoritmos de compressão de voz (o que torna mais difícil a otimização da eficiência espectral) apresenta como vantagem a sua simplicidade, que em determinados ambientes, alguns sistemas mais complexos, como os baseados em TDMA, poderão apresentar uma pior relação custo-benefício. A voz é modulada em *narrow-band FM* e os dados são transmitidos pelo canal de controlo que utiliza sinalização **FFSK** [16].

2.1.3.4 **TETRA e TETRAPOL**

Apesar das normas **TETRA** e **TETRAPOL** pretenderem responder ao mesmo *core* de serviços, de onde se destacam entre outros, a possibilidade de criação e a gestão de grupos de utilizadores, a encriptação *end-to-end* e uma função de *Walkie Talkie* mais elaborada (que iremos falar mais adiante). As normas diferem nas características radioelétricas tornando-as incompatíveis, como se pode constatar pela Tabela 2.1 [5].

A norma TETRA evoluiu para uma segunda versão (TETRA *Release 2*) em que é melhorada a capacidade na transmissão de dados, através da introdução de canais com maior largura de banda. Esta versão permite sub-bandas com largura de 25 KHz, 50 KHz, 100

Sistema	TETRA	TETRAPOL
<i>Standard</i>	Aberto ETSI (digital)	Proprietário (MATRA)
Eficácia RF	4 canais (25 KHz)	2 canais (25 KHz)
Largura de banda a pedido	Sim (4 níveis)	Não
Voz e Dados em simultâneo	Sim	Não
Modo directo (DMO)	Sim	Sim
Topologia de rede	Qualquer	Em hierarquia
Espaçamento de canais	25 KHz	12,5 KHz
Método de Acesso	TDMA	FDMA
Taxa de Bits	36 Kbps	8 Kbps
<i>Voice Coder</i>	4,5 Kbps ACELP digital	6 Kbps ACELP
Formato da voz	Digital	Digital
Chamada Duplex na mesma portadora	Sim	Não
Responde aos requisitos Schengen	Sim	Não
Nº Canais/Portadora	4	1
Tempo de acesso	<300 ms	< 500 ms
Velocidade de transmissão bruta por canal	5000 bps	7200 bps

Tabela 2.1: TETRA versus TETRAPOL

KHz e 150 KHz. Também permite uma modulação adaptativa conforme o contexto e os requisitos pretendidos. Os esquemas de modulação suportados são:

- $\frac{\pi}{4}$ QPSK - Utilizado nos canais ordinários de voz e dados (V+D) e no canal de controlo;
- $\frac{\pi}{8}$ DPSK - Para migração de sistemas que requerem um pequeno aumento na velocidade de transmissão.
- 4QAM - Para ligações no limite da cobertura.
- 16QAM - Utilizada para débitos moderados.
- 64QAM - Utilizada para grandes débitos.

Com a norma TETRA *Release 2*, é possível obter uma velocidade de transmissão de dados na ordem dos 500 Kbps combinando uma sub-banda de 150 KHz com modulação 64QAM. Adicionalmente, é totalmente compatível com a primeira versão da norma TETRA, o que vem facilitar a migração. Atualmente a norma TETRA encontra-se implementada em cerca de 54 países nos 5 continentes.

A norma TETRAPOL, utilizada em 34 países, foi atualizada de modo a se poder utilizar o protocolo IP na transmissão de dados (TETRAPOL IP).

No final da década de 90, a norma TETRA era a única norma suportada pelo ETSI para o setor das radiocomunicações e também a única que respondia aos requisitos Shengen, pelo que já se previa que iria ter uma maior imposição no mercado das comunicações de

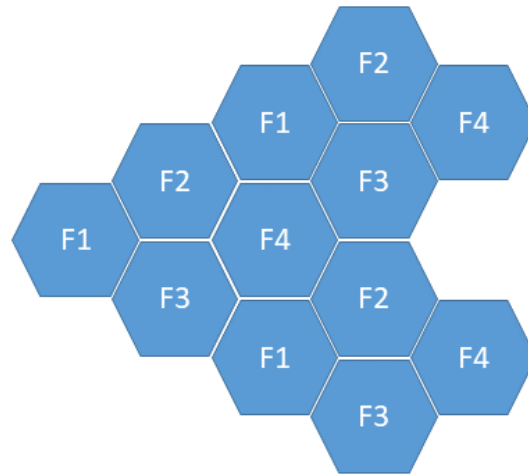


Figura 2.6: *Layout* de uma rede com um *cluster* de dimensão 4

emergência e segurança relativamente às outras normas enunciadas incluindo a [TETRA-POL](#). Por essa razão e também devido ao facto da norma TETRA garantir a interoperabilidade dos equipamentos de diferentes fabricantes, esta já tinha sido adotada na resolução [14], ainda antes da definição do SIRESP.

2.1.4 Plano de frequências

Definida a norma de telecomunicações a adotar e a banda de frequências disponível, é possível definir a quantidade de portadoras por célula e assim, dentro da banda disponível, alocar as frequências em cada uma dessas células. Uma regra básica em antenas omnidirecionais, passa por escolher as frequências numa célula, o mais afastado possível, das frequências das células adjacentes. Para tal, pode-se definir a distância D de reutilização de frequências, dependendo do raio de uma célula de cobertura R e um *cluster* com dimensão K (ver fig. 2.6) através da expressão [6]:

$$D = R\sqrt{3K}. \quad (2.7)$$

O planeamento de frequências não entrou no âmbito do relatório [5], ficando esta questão para uma fase posterior em que o Autor já não se encontrava ligado ao projeto. É de salientar que as bandas alocadas às forças de emergência e segurança são comuns em toda a Europa e incluem os intervalos [380,385] MHz e [390,395] MHz. Dadas as características dos sistemas TETRA, pode-se admitir um *cluster* com $K = 4$ para zonas urbanas e $K = 3$ para zonas rurais.

2.1.5 Modos de operação

A norma TETRA inclui os seguintes modos de operação, adequados à atividade das forças de emergência e segurança.

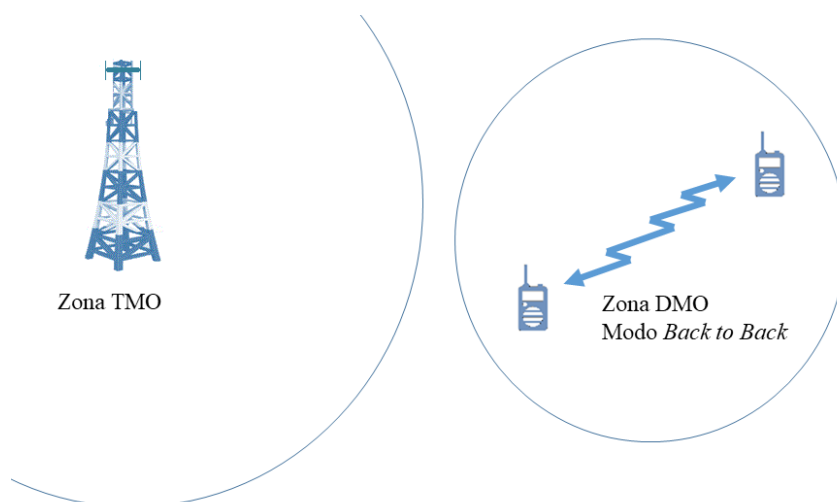


Figura 2.7: *Direct Mode Operation - Modo Back To Back.*

2.1.5.1 *Trunked Mode Operation*

Este modo caracteriza-se pela utilização da infraestrutura principal para iniciação de uma chamada de grupo. A procura e atribuição de um canal disponível são geridas automaticamente pela rede, de modo, a que outros terminais que se encontram no mesmo grupo de conversação, independentemente da sua localização (desde que dentro da área de cobertura de um repetidor), possam receber a chamada e estabelecer a ligação entre os vários intervenientes.

2.1.5.2 *Direct Mode Operation*

Uma das funcionalidades, mais interessantes, que a norma TETRA disponibiliza nas redes de comunicações de emergência e segurança, é o *Direct Mode Operation (DMO)*. Com efeito, esta função vai para além da mera funcionalidade de *Walkie-Talkie*, permitindo inclusivé a extensão da cobertura, em que um terminal móvel (normalmente instalado numa viatura) pode funcionar como mediador. Em particular, os sistemas TETRA, oferecem as seguintes possibilidades:

- Comunicação entre terminais em modo PTT (*Back to Back*), sem ser necessário recorrer à infraestrutura principal (fig. 2.7).
- Constituição de redes de utilizadores *ad-hoc* com um mediador (p.e. terminal móvel) transformado em repetidor (fig. 2.8), de forma a estabelecer uma rede local (zona DMO) sem a intervenção da infraestrutura central (zona TMO).
- Ligação de um terminal em simultâneo à zona DMO e à zona TMO (fig. 2.9).
- Introdução de *gateway* entre um grupo de utilizadores e a infraestrutura através de um mediador (*DMO Gateway*). Esta funcionalidade pode ser muito útil, por exemplo, em

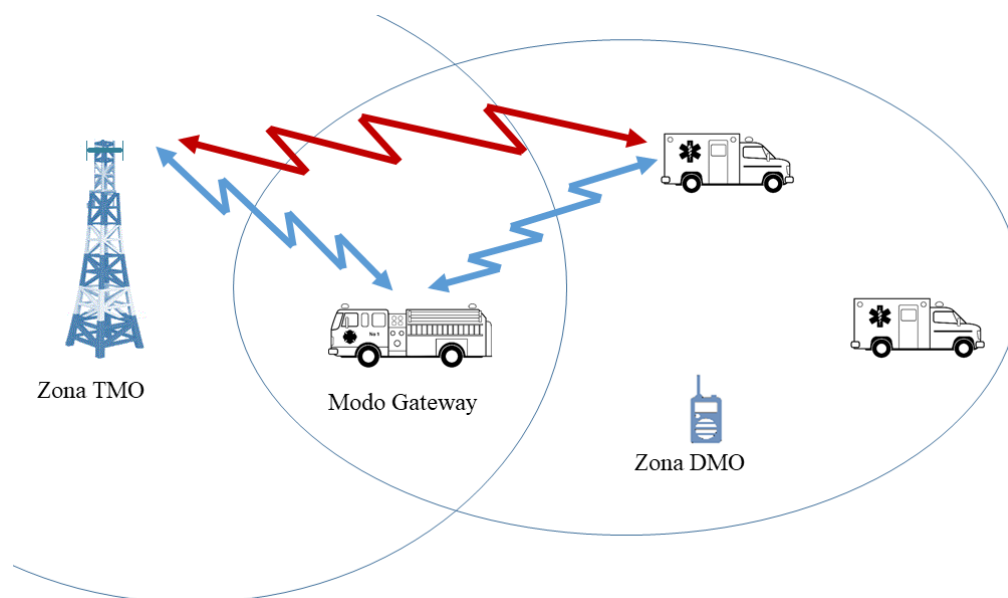


Figura 2.10: *Direct Mode Operation - Modo Gateway.*

operações localizadas em zonas "sombra". No caso de ser possível o posicionamento de uma viatura numa zona de cobertura de rede, esta poderá mediar as comunicações, alargando a zona de cobertura da rede (TMO) ao local da operação (fig. 2.10).

Esta funcionalidade é fundamental para a operação das forças de emergência e segurança, pelo que deverá ocupar um papel central no processo de transferência de tecnologia de modo que os agentes possam tirar melhor partido da rede na sua atividade.

2.1.6 Centro de comando e controlo e centro de despacho

O centro de comando e controlo (CCC) de uma rede de comunicações representa o "cérebro" de todo o sistema. É onde se localiza o equipamento concentrador do tráfego gerado na rede (comutador central) que, por sua vez, distribui as chamadas para as consolas de despacho, para outros repetidores dentro da rede, para redes externas (funcionando como *proxy*, relé e *gateway*) e outros equipamentos periféricos (*e.g.* sistema de gravação de chamadas). Como se pode observar na fig. 2.11, tipicamente, o CCC ocupa o centro da estrela que define a arquitetura de uma rede de comunicações, em cujas pontas se encontram as BSs ligadas às respetivas antenas.

Tendo em atenção o carácter hierárquico da decisão nas operações das forças de emergência e segurança, a rede de comunicações deve incluir centros de despacho, onde são centralizados, organizados e despachados os pedidos efetuados via rádio.

Para uma melhor adequação da rede à organização operacional das várias entidades foi exigido no relatório [5] a possibilidade das comunicações poderem ser hierarquizadas e organizadas de forma a responder a situações que exijam competências locais, inter-regionais e nacionais. Assim, tomando como exemplo a PSP, GNR e SNB, que representam

2.1. PLANEAMENTO DA COMPONENTE RÁDIO DA REDE DE COMUNICAÇÕES DE EMERGÊNCIA E SEGURANÇA

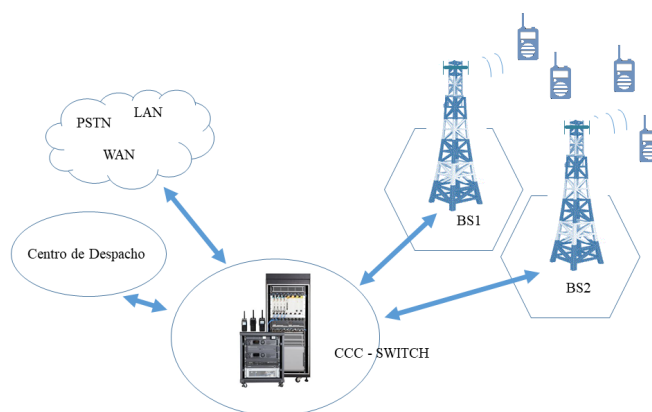


Figura 2.11: Centro de comando e controlo da rede de comunicações

mais de 80% dos potenciais utilizadores, a configuração pretendida pressupõe um conceito operacional de interdependência, entre o Centro de Comando Nacional, os Centros de Comando Distritais (com sede nas capitais de distrito) e os Comandos Locais.

Esta necessidade traduzia-se, no caso do Comando Nacional e por cada Comando Distrital, na existência de uma consola para administração do sistema, uma para supervisão e um número de consolas para operadores rádio que varia consoante a área de responsabilidade de cada Comando. No caso de um Comando Local seria apenas necessária uma consola de operador de rádio.

Adicionalmente também se pretendia que a rede SIRESP suportasse:

- Ligação com outras redes móveis e fixas (através de *gateways*);
- Criação redes privativas virtuais;
- Configuração dinâmica de utilizadores numa hierarquia;
- Gestão dinâmica de grupos e atribuição de permissões aos utilizadores;
- Gestão de permissões das ligações a outras redes de dados;
- Transferência de informação com protocolo IP entre terminais móveis;
- Desenvolvimento de aplicações com base em *interfaces* abertos adotados pela rede.

2.1.7 Ligações ponto a ponto

Para interligar as BSs com um centro de comando existem várias opções de ligação ponto a ponto, que vão desde o cabo de fibra óptica e o cabo coaxial, passando pelos feixes hertzianos até às ligações via satélite.

Relativamente à ligação filar, esta apresenta como vantagem a sua elevada largura de banda, o que permite a transmissão de dados em alto débito. No entanto, esta opção é relativamente dispendiosa, nomeadamente fora das zonas urbanas, onde é necessário

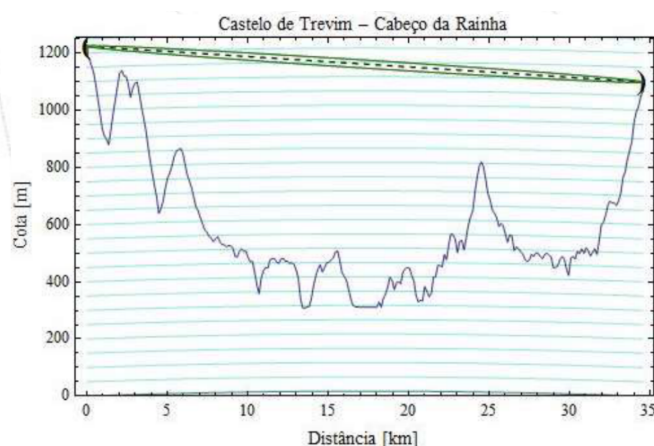


Figura 2.12: Exemplo de um perfil de ligação por feixes hertzianos retirado de [1]

recorrer a trabalhos suplementares para a construção de valas. Daí a opção, que alguns operadores utilizam, em passar o cabo por via aérea utilizando postes de sustentação para o efeito. No entanto, esta última solução, num contexto de emergência e segurança pode ser problemática, uma vez que os cabos se encontram vulneráveis a vários factores de risco (*e.g.* incêndios, ventos, terrorismo) [1].

Outra opção passa por assegurar as comunicações recorrendo a feixes hertzianos. Embora seja a opção menos onerosa, esta apresenta uma transmissão de mais baixo débito que a opção filar. Também apresenta algumas vulnerabilidades, nomeadamente a condições meteorológicas extremas (vento, nevoeiro) que podem desalinhar as antenas ou atenuar o feixe [12].

O projeto de feixes hertzianos obriga à elaboração de gráficos de perfil de ligação, para quantificar o número de nós necessários entre dois pontos. Na fig. 2.12 encontra-se um exemplo de perfil de ligação retirado de [1].

A opção via satélite apresentava custos orçamentais mais elevados na altura da definição do SIRESP pelo que não foi considerada no desenho da solução. No entanto, dado o aumento de oferta deste tipo de serviço ao longo dos anos, é provável que atualmente existam serviços com preços mais convidativos.

No entanto, face aos custos envolvidos pelas diversas opções, numa altura em que a rede de fibra óptica não dispunha da mesma cobertura que tem hoje em meio urbano, e em que o custo das ligações por satélite era elevado, o relatório [5] contemplou apenas a aquisição dos feixes hertzianos para interligação dos repetidores ao CCC. As ligações ponto a ponto já existentes nas redes analógicas em funcionamento, assim como alguns estudos de perfil entretanto efetuados, permitiram estimar a quantidade de ligações necessárias para interligação dos vários locais e que será apresentada mais adiante.

Entidade	Quantidade
Guarda Nacional Republicana	7780
Polícia de Segurança Pública	10500
Serviço de Estrangeiros e Fronteiras	165
Polícia Judiciária	1620
Instituto Nacional de Emergência Médica	1100
Serviço Nacional de Bombeiros	26200
Cruz Vermelha Portuguesa	1500
Instituto de Conservação da Natureza	490
Direção Geral dos Serviços Prisionais	920
Inpeção Geral das Atividades Económicas	50
Direção Geral de Florestas	2870
Serviço Nacional de Proteção Civil	175

Tabela 2.2: Distribuição das quantidades estimadas de terminais por entidade integradora da rede SIRESP.

2.1.8 Disponibilidade

É de esperar que uma rede para as forças de segurança seja um sistema de alta disponibilidade, ou seja que em caso de falha da componente física, lógica ou energia, o sistema consiga manter tanto quanto possível os serviços disponibilizados. Para aumentar a tolerância a falhas é expectável que em cada estação existam um número suficiente de equipamentos redundantes para manter o serviço de emissão/recepção com uma qualidade aceitável. O mesmo deve acontecer com outros órgãos da rede, nomeadamente com os CCCs e os centros de despacho, devendo ser redundantes em equipamento, prontos para entrar em operação a qualquer momento. Por essa razão, numa rede de comunicações de emergência e segurança, é importante que os sistemas primários e secundários funcionem em simultâneo em regime de *Hot Stand By*. Outro parâmetro a ter em conta para a melhoria da tolerância a falhas, prende-se com o [MTBF](#) dos equipamentos. Este parâmetro conjuntamente com o [MTTR](#) permite quantificar a disponibilidade.

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}. \quad (2.8)$$

No caso da rede SIRESP definiu-se uma disponibilidade de 99% correspondendo a um *downtime* de 3.65 dias por ano.

2.2 Resultados

2.2.1 Arquitetura da rede SIRESP

Para a definição da arquitetura da rede SIRESP apurou-se a distribuição das quantidades de terminais por entidade potencialmente integradora em todo o território nacional (ver tabela [2.2](#)).

Continente	
Item	Quantidade
Terminais	45000
Número de portadoras	1370
Estações de Base (BS)	550
Centros de Gestão e Supervisão	2
Centros de Despacho Nacional	15
Centros de Despacho Local	54
Comutadores de Tráfego Regional (DXT)	5
Feixes hertzianos a 2 Mbps	370
Torre e Abrigo "Shelter"	370

Tabela 2.3: Cenário A no Continente que inclui 550 BS e 5 DXT regionais.

Assim, no projeto, assumiu-se um universo de potenciais utilizadores como sendo de 50000 para todo o território nacional (45000 no Continente, 2000 na Região Autónoma da Madeira e 3000 na Região Autónoma dos Açores).

É exigido no projeto que a redundância dos elementos essenciais da rede deva garantir uma disponibilidade técnica de 99%. Para garantir essa disponibilidade, entendeu-se que cada BS deveria ser equipada, no mínimo, com 2 portadoras.

A definição da cobertura elétrica, baseou-se em dois cenários, em que o primeiro (cobertura 1) assenta na possibilidade de se estabelecer ligações a partir de equipamentos portáteis de 1 Watt em:

- 95% dos lugares e 95% do tempo nas zonas urbanas;
- 95% dos lugares e 95% do tempo nas zonas suburbanas e principais estradas e vias;
- 90% dos lugares e 95% do tempo nas zonas rurais;
- Penetração nos edifícios a 80% nas zonas urbanas e a 50% nas zonas rurais;

O segundo cenário (cobertura 2) mantém os requisitos de cobertura radioelétrica do primeiro cenário, considerando-se o redimensionamento da rede para permitir as ligações nas zonas urbanas com rádios portáteis de 1 Watt e para as zonas suburbanas, rurais e itinerários rodoviários principais, com terminais móveis de 10 Watt instalados em viaturas. este cenário só é considerado para o território continental, dada a dispersão territorial das Regiões Autónomas.

Em conformidade com as duas situações anteriores, estimaram-se quatro cenários (A,B,C e D) com base nos requisitos da cobertura 1 e dois cenários (E e F) baseados nos requisitos da cobertura 2. Os resultados do cenário A encontram-se nas tabelas 2.3, 2.4 e 2.5.

Região Autónoma da Madeira	
Item	Quantidade
Terminais	2000
Número de portadoras	40
Estações de Base (BS)	15
Centros de Gestão e Supervisão	1
Centros de Despacho Nacional	1
Centros de Despacho Local	2
Comutadores de Tráfego Regional (DXT)	1
Feixes hertzianos a 2 Mbps	10
Torre e Abrigo "Shelter"	10

Tabela 2.4: Cenário A na Região Autónoma da Madeira que inclui 15 BS e 1 DXT.

Região Autónoma dos Açores	
Item	Quantidade
Terminais	3000
Número de portadoras	90
Estações de Base (BS)	35
Centros de Gestão e Supervisão	1
Centros de Despacho Nacional	1
Centros de Despacho Local	6
Comutadores de Tráfego Regional (DXT)	1
Feixes hertzianos a 2 Mbps	25
Torre e Abrigo "Shelter"	25

Tabela 2.5: Cenário A na Região Autónoma dos Açores que inclui 35 BS e 1 DXT.

O cenário B é idêntico ao do A, exceto, no que respeita à instalação de 5 comutadores de tráfego regionais no Continente. Neste caso a opção passa pela substituição destes equipamentos por 18 comutadores de tráfego distritais. Esta opção, embora mais onerosa, sob o ponto de vista da gestão operacional, é mais eficaz.

Os cenários C e D são idênticos ao A e B, respectivamente, não incluindo, em ambos, as Regiões Autónomas.

O cenário E não inclui, igualmente, as Regiões Autónomas, e apresenta as quantidades descritas na tabela 2.6, .

Quanto ao cenário F, este é idêntico ao E, substituindo-se apenas os 5 comutadores regionais por 18 distritais (equivalente ao racional utilizado no cenário B).

Estes cenários foram apresentados à tutela ficando a escolha dependente da decisão política.

2.2.2 Modelo institucional

O Grupo de Trabalho também se debruçou sobre o modelo institucional, tendo analisado várias opções em que a preferida passava pela constituição de duas entidades estatais

Continente	
Item	Quantidade
Terminais	45000
Número de portadoras	1000
Estações de Base (BS)	400
Centros de Gestão e Supervisão	2
Centros de Despacho Nacional	15
Centros de Despacho Local	54
Comutadores de Tráfego Regional (DXT)	5
Feixes hertzianos a 2 Mbps	270
Torre e Abrigo "Shelter"	270

Tabela 2.6: Cenário E que inclui 400 BS e 5 DXT regionais no Continente.

distintas, no entanto coligadas na mesma estrutura. A estrutura a nível superior de carácter público tem como papel a definição das políticas gerais de emergência e segurança. A estrutura inferior constituída por capitais mistos com parceiros privados (embora o controlo permaneça maioritariamente do Estado), terá o papel de contratar os equipamentos necessários, bem como assegurar a sua instalação, manutenção e exploração, em linha com as orientações de gestão e organizacionais da estrutura superior. A participação privada neste consórcio poderia incluir o fabrico do equipamento, bem como as funções de operação da rede. É de realçar que o espírito desta inclusão tinha como propósito criar a partir desta rede uma cadeia de valor que a indústria portuguesa pudesse aproveitar para desenvolver novos produtos na área da segurança.

2.3 A rede atual do SIRESP

Como já atrás referido, pouco tempo depois da entrega e discussão do relatório houve uma mudança de Governo, que conduziu ao afastamento dos principais intervenientes no processo de definição do SIRESP. Assim, o fundamento de algumas opções introduzidas na implementação do SIRESP, depois do ano de 2001, são desconhecidas pelo Autor.

Segundo o sítio do SIRESP [15], em Janeiro de 2010 foi concluída a implementação da rede no território continental e na Região Autónoma da Madeira, tendo sido instaladas 502 torres de comunicações para um universo de 53500 utilizadores. A rede inclui seis comutadores de rede, 53 salas de despacho e 2 estações móveis de reforço com sistema de comunicação via satélite [15]. O estado da arte atual encontra-se descrito na fig. 2.13 (retirada do mesmo sítio [15]).

Pelo que é dado a conhecer no sítio [15], a estrutura técnica atual corresponde em grande parte às orientações preconizadas no relatório [5] produzido pelo Grupo de Trabalho (em que o Autor participou como consultor técnico).

Relativamente aos problemas recentemente levantados, no caso dos últimos incêndios, estes devem-se a factores que se encontram fora do âmbito do relatório [5], e que se podem resumir pela falta pontual de cobertura, de proteção das ligações filares entre os

2.4. PERSPECTIVA FUTURA DAS REDES DE COMUNICAÇÕES DAS FORÇAS DE EMERGÊNCIA E SEGURANÇA

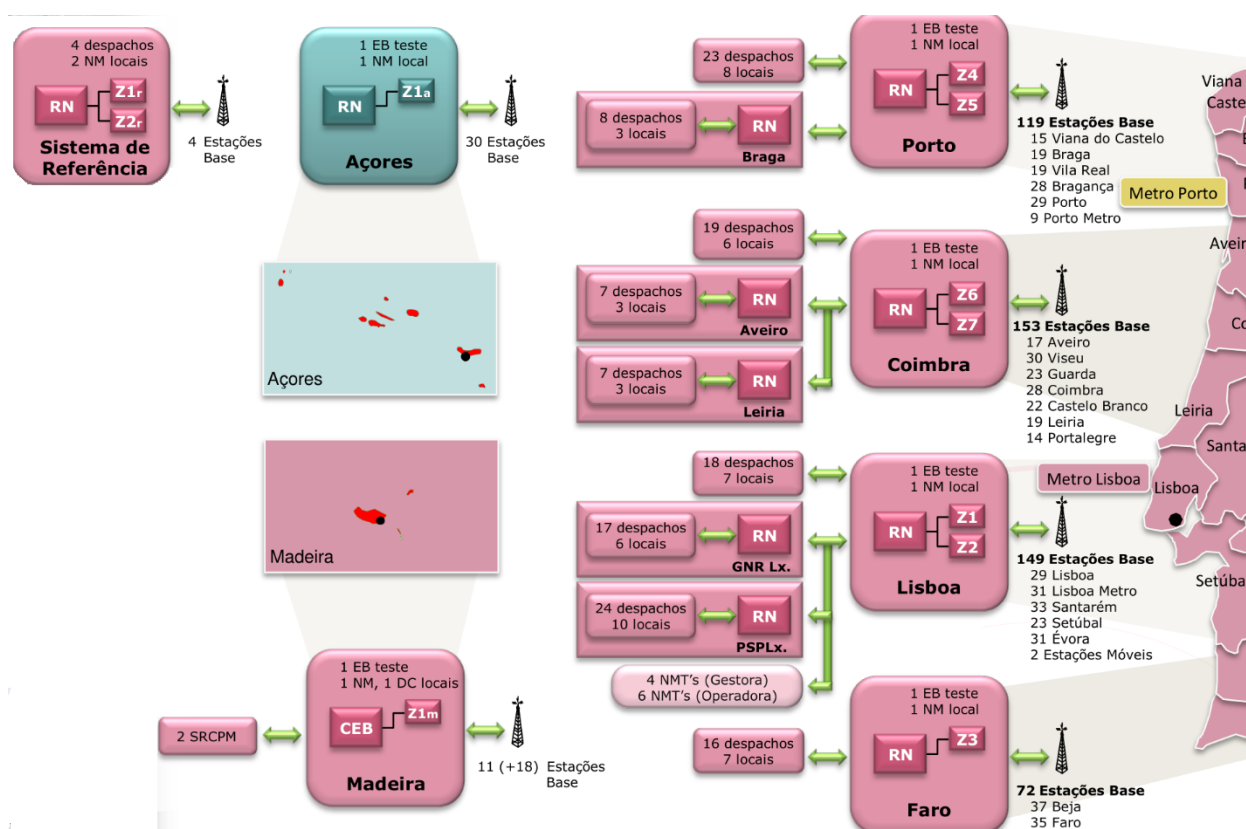


Figura 2.13: Rede atual do SIRESP

repetidores e os CCCs e pela falta de formação dos agentes operacionais, nomeadamente dos Bombeiros, em relação à utilização dos equipamentos terminais [1]. Com efeito, existem funcionalidades dentro da norma **TETRA**, que devidamente inseridas, nos processos operacionais, muito provavelmente poderiam ter mitigado algumas das situações problemáticas. Uma possível solução para a falta de cobertura, poderia passar pelo seu reforço, através do aumento das estações móveis com ligação por satélite, uma vez que atualmente, já existem soluções comercialmente mais vantajosas que quando foi elaborado o relatório [5].

2.4 Perspectiva futura das redes de comunicações das forças de emergência e segurança

Apesar das normas **TETRA** e **TETRAPOL** ainda corresponderem às necessidades das forças de emergência e segurança relativamente à comunicação de voz, já nas comunicações de dados, as taxas de transferência começam a ser lentas para os padrões atuais. Alguns países como o Reino Unido, encontram-se numa fase de mudança para sistemas baseados na norma **LTE**, que, além de proporcionar maior velocidade na transmissão de dados, são compatíveis com a rede dos operadores móveis civis. Este facto, permite, de uma forma

menos onerosa, reforçar a redundância das comunicações. Por outro lado, as características da norma **LTE** asseguram, quer em termos de criptofonia quer em termos de espectro, uma maior segurança, devido às características da multiplexagem utilizada (por incorporar o conceito de *spread spectrum*), prevenindo a escuta e o *jamming* das comunicações de emergência e segurança.

A norma **LTE** representa o topo da evolução dos sistemas de comunicações móveis (4G) e incorpora o método **MIMO**, em combinação com o modo de multiplexagem **OFDMA** no *downlink* e **FDMA** no *uplink* (conseguindo uma boa eficiência espectral). Foi concebido para manter a compatibilidade com a **GSM** e o **HSPA**, o que permite aos operadores móveis realizar a transição para a tecnologia **LTE** sem descontinuar os serviços nas redes já existentes.

Tem também como principal característica a possibilidade de utilização de portadoras em diferentes bandas de frequência e com largura de canal escalável de 1.4, 3, 5, 10, 15 a 20 MHz (quanto maior a largura da sub-banda maior a velocidade de transmissão de dados). A rede funciona com base no protocolo **IP** com garantia de qualidade de serviço *end-to-end*, que se traduz em menor número de elementos por onde os pacotes de dados terão de ser transmitidos, e portanto sujeitos a um menor atraso. Dada a versatilidade da **LTE**, esta apresenta-se promissora no campo das comunicações de emergência e segurança, uma vez que corresponde aos requisitos exigidos por este tipo de redes, para além de existir uma versão para a faixa dos 400 MHz [7]. Este facto, permite a migração dos serviços de emergência e segurança sem ser necessário um esforço adicional na alocação de frequências, podendo ser utilizada para o efeito a faixa que é hoje destinada às normas **TETRAPOL** e **TETRA**.

OUTROS PROJETOS

3.1 Outros projetos

3.1.1 Consultoria na área das Telecomunicações

Paralelamente à sua atividade diária, quer no GEPI/MAI, quer na FCM/UNL, o Autor efetuou alguns trabalhos como consultor na área das Telecomunicações, onde se destaca a sua participação na equipa técnica da empresa Maxitel SA para resposta ao Caderno de Encargos do ICP no âmbito do licenciamento da faixa dos 3,6 a 3,8 MHz (ver Anexo I, figs. I.1).

3.1.1.1 Resultados

As faixas foram atribuídas em concurso, tendo o projeto da Maxitel sido um dos vencedores e o Autor recebido um louvor do Presidente da empresa. É de realçar que a Portugal Telecom, também concorrente, foi um dos perdedores.

3.1.2 Chefia da Divisão de Informática e Telecomunicações da Faculdade de Ciências Médicas

O Autor desempenhou o cargo de responsável do Centro de Informática e Telecomunicações da FCM/UNL entre os anos 2001 e 2007 e de Chefe de Divisão, na Divisão de Informática e Telecomunicações da mesma instituição de 2007 até 2016. Nessas funções, projetou e implementou a infraestrutura de comunicações da Faculdade, que incluiu uma rede de voz constituída por 6 centrais telefónicas (PBX) interligadas, de forma a aproveitar todas as características de uma rede estruturada.

Para tal foram criados 6 pólos técnicos em que cada um dispunha de um equipamento *Switch* de comunicações de dados (Cisco) e um PBX. Os vários PBXs foram ligados e

configurados em estrela, através de um plano de numeração. O **PBX** do centro da estrela, para além de cobrir uma parte da Faculdade, desempenhava também o papel de central de trânsito (dispondo para o efeito de *gateways* para GSM e rede fixa). Sobre a rede de dados e voz foram instalados terminais telefónicos, computadores e servidores.

Em relação à rede de dados, todas as comunicações concentravam-se num *router*, que para além das funções de roteamento também desempenhava as funções de *Firewall* e *proxy*. Este *router* (atualmente, ainda em funcionamento) é uma solução não comercial construída sobre um software designado por FireHOL. Este equipamento também desempenha outras funções onde se incluem a centralização e mediação dos mecanismos de autenticação (RADIUS, Active Directory e Shibollet).

O sistema centralizado no Campus da FCM/UNL também foi projetado e implementado de forma a funcionar como operador de serviços e de comunicações (*e.g.* Mail, VPN, Shibollet, EDUROAM) dos edifícios e departamentos externos da FCM/UNL.

Ao nível de software, o Autor desenvolveu em conjunto com a sua equipa, uma aplicação de controlo de assiduidade que recebia os registos, transmitidos através de VPN a partir de terminais biométricos implementados em todos os locais onde se encontram sediados os departamentos da FCM/UNL (incluindo Hospitais afiliados e edifícios escolares externos ao Campus).

3.1.2.1 Resultados

Todo o sistema informático e de telecomunicações da Faculdade de Ciências Médicas foi projetado, implementado e mantido pelo Autor ao longo dos 17 anos em que este permaneceu à frente dos destinos do Centro de Informática da FCM/UNL. Chefiou diariamente uma equipa de técnicos que para além do *HelpDesk* ao utilizador, também desenvolviam software e mantinham toda a estrutura de equipamentos da Faculdade, tendo o Autor recebido os seguintes louvores:

Louvor do Director da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa, Prof. Doutor António Bensabat Rendas (Louvor nº 93/2007 in Diário da República n.º 49/2007, Série II de 2007-03-09);

Louvor do Director da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa, Prof. Doutor José Miguel Barros Caldas de Almeida (Louvor nº 44/2014 in Diário da República n.º 12/2014, Série II de 2014-01-17).

3.1.3 Investigação na área da Inteligência Artificial

Em 2009 o Autor começou o seu projeto de Doutoramento focado na área da Bioestatística, ficando integrado, como membro não doutorado, no Centro de Estatística e Aplicações da Universidade de Lisboa (CEAUL). Esta atividade foi desenvolvida paralelamente à sua situação profissional (Chefe de Divisão de Informática e Telecomunicações da FCM/UNL), tendo-se focado na investigação de metodologias na área de *machine learning* e na relação destas com os modelos utilizados na área da Estatística. Atualmente, o autor continua (já

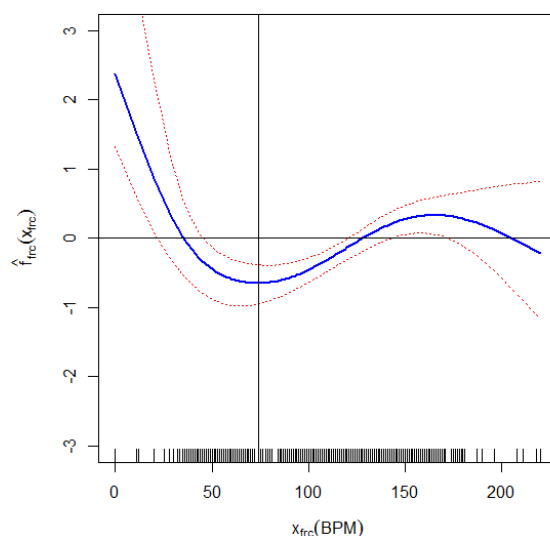


Figura 3.1: Estimativa da função parcial e respetivo intervalo de confiança a 95%, obtidos a partir de uma [GANN Aranda](#), traduzindo a associação entre a frequência cardíaca (número de batimentos por minuto - BPM) e o evento morte. A linha vertical representa o mínimo desta função ($x_{frc} = 74$ BPM).

como membro doutorado) integrado numa linha de investigação dedicada ao desenvolvimento de metodologias na área da Inteligência Artificial que possam mimetizar modelos utilizados na área da Estatística.

Uma dessas metodologias em que o Autor trabalhou (e atualmente ainda trabalha) relaciona-se com as Redes Neurais Aditivas Generalizadas ([GANNs](#)), tendo introduzido inovações que incluem a função de ligação flexível, a obtenção dos intervalos de confiança das funções parciais¹ e as funções da razão de possibilidades (também com os respectivos intervalos de confiança).

Estas redes mimetizam os Modelos Aditivos Generalizados, utilizados na Estatística para a identificação de biomarcadores/fatores de risco e para a produção de indicadores no âmbito de estudos de base populacional. Com estas inovações, foi reforçada a interpretabilidade neste tipo de modelos, tornado-os de grande utilidade na área clínica em alternativa às redes neurais artificiais mais populares - os Perceptrões Multicamada (*Multi Layer Perceptron*) que funcionam como caixa negra.

Para um melhor entendimento quanto à aplicação destes modelos, apresenta-se na [fig. 3.1](#) um gráfico obtido a partir da análise de uma amostra de dados recolhida numa Unidade de Cuidados Intensivos (UCI), respeitante a 996 doentes tendo sido registadas algumas variáveis, de entre estas, a frequência cardíaca.

O gráfico mostra a associação entre a covariável frequência cardíaca e a morte que é do conhecimento comum (o que ajuda a aferir o modelo obtido). A frequência cardíaca traduz o número de batimentos do coração por minuto e como se pode observar, para

¹Que traduzem a associação de uma variável explicativa com a resposta

valores muito baixos, o risco de morte aumenta. O valor mais protetor situa-se em 74 batidas por minuto (BPM).

O Autor também desenvolveu trabalho na aplicação de métodos da área da Computação Evolucionária (nomeadamente Algoritmos Genéticos e *Particle Swarm Optimization*) para a definição da topologia das GANNs.

3.1.3.1 Resultados

Desta recente atividade, há a destacar, entre outros, os 3 artigos metodológicos [11][3][4] que o Autor publicou (os últimos dois como primeiro autor).

3.1.4 Outras atividades

O Autor também se encontra, neste momento, a exercer a atividade de docência na Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa (ver Apêndice B), nas Unidades Curriculares de Saúde Pública, Epidemiologia e Bioestatística, e Informática e Aplicações de Informática Médica (na qual é regente), no âmbito do Mestrado Integrado em Medicina.

CONCLUSÕES

Pelo que foi exposto é fácil concluir que a atividade profissional do Autor esteve na base da definição da rede SIRESP, tendo igualmente contribuído de forma decisiva para outros projetos de âmbito nacional como, por exemplo, o da obtenção do licenciamento da faixa dos 3,6 a 3,8 MHz para a Maxitel SA (em competição com outras grandes operadoras no mercado das telecomunicações). Na Faculdade de Ciências Médicas chefiou equipas de desenvolvimento e manutenção para implementar e manter toda o sistema de informática e comunicações que ainda hoje se encontra operacional. Recentemente dedica-se à docência e investigação na área da Inteligência Artificial aplicada à Medicina.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Aguiar, A. Navarro, A. Rodrigues, C. Fernandes, J. S. Carlos Salema, N. B. de Carvalho e R. Caldeirinha. *Estudo do funcionamento do SIRESP*. Rel. téc. 1. Ministério da Administração Interna de Portugal: SGMAI, jul. de 2017.
- [2] M. A. Alamoud e W. Schütz. “Okumura-Hata Model Tuning for TETRA Mobile Radio Networks in Saudi Arabia”. Em: *2nd International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA)*. 2012, pp. 47–51.
- [3] C. Bras-Geraldes, A. Papoila, P. Xufre e F. Diamantino. “Generalized Additive Neural Networks for mortality prediction using automated and Genetic Algorithms”. Em: *IEEE 2nd International Conference on Serious Games and Applications for Health, SeGAH 2013, Vilamoura, Portugal*. IEEE, 2013, pp. 1–8. DOI: [10.1109/SeGAH.2013.6665306](https://doi.org/10.1109/SeGAH.2013.6665306).
- [4] C. Bras-Geraldes, A. Papoila e P. Xufre. “Generalized additive neural network with flexible parametric link function: model estimation using simulated and real clinical data”. Em: *Neural Computing & Applications* (jun. de 2017), pp. 1–18. ISSN: 0941-0643. DOI: [10.1007/s00521-017-3105-6](https://doi.org/10.1007/s00521-017-3105-6).
- [5] A. de Carvalho Oliveira, R. P. da Silva Soeiro Figueiredo, A. J. Morais, F. S. Cunha, N. F. Pintão, C. J. B. Geraldes, J. L. S. Louro, J. M. B. Varela e J. M. F. de Carvalho. *Sistema Integrado das Redes Nacionais de Emergência e Segurança de Portugal*. Rel. téc. Ministério da Administração Interna de Portugal: GEPI/MAI, mai. de 2001.
- [6] J. Dunlop, D. Girma e J. Irvine. *Digital Mobile Communications and the TETRA System*. Wiley, 1999. ISBN: 9780471987925.
- [7] R. Ferrus e O. Sallent. *Mobile Broadband Communications for Public Safety: The Road Ahead Through LTE Technology*. John Wiley e Sons, Limited, 2015. ISBN: 9781118831243.
- [8] H.-P. A. Ketterling. *Introduction to Digital Professional Mobile Radio (Artech House Mobile Communications Library)*. Norwood, MA, USA: Artech House, Inc., 2004. ISBN: 1580531733.
- [9] W. Lee. *Mobile Communications Engineering: Theory and Applications*. McGraw-Hill Education, 1997. ISBN: 9780071500128.

- [10] M. Melters. *A comparison of TDMA and FDMA protocols for private mobile radio systems for public safety services*. Rel. téc. 1. Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek: Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek, fev. de 1994.
- [11] A. L. Papoila, C. Rocha, C. Geraldés e P. Xufre. “Generalized Linear Models, Generalized Additive Models and Neural Networks: Comparative Study in Medical Applications”. Em: *Advances in Regression, Survival Analysis, Extreme Values, Markov Processes and Other Statistical Applications*. 2013, pp. 317–324.
- [12] D. Pernes, D. Neves e P. Vieira. “Análise de Cobertura e Capacidade em Redes Móveis LTE de Quarta Geração (4G)”. Em: *URSI Seminar of the Portuguese Committee*. Vol. 1. 2012, pp. 1–1.
- [13] T. Rappaport. *Wireless communications: Principles and practice*. 2nd. Prentice Hall communications engineering and emerging technologies series. Prentice Hall, 2002. ISBN: 0130422320.
- [14] *Resolução do Conselho de Ministros n.º 88/99, de 22 de Julho de 1999, publicada, em 12 de Agosto de 1999, no Diário da República n.º 187, I Série – B*. Ago. de 1999.
- [15] *Sítio do SIRESP*. URL: http://www.siresp.com/ponto_de_situacao.html (acedido em 15/02/2018).
- [16] G. B. D. of Trade e I. R. Agency. *MPT 1327: A Signalling Standard for Trunked Private Land Mobile Radio Systems*. Radiocommunications Agency, 1991.



RESUMO DO PERCURSO PROFISSIONAL

GABINETE DE ESTUDOS E DE PLANEAMENTO DE INSTALAÇÕES DO MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO INTERNA

> 1996

Entrada no Gabinete de Estudos e de Planeamento de Instalações do Ministério da Administração Interna;

>1997 - 2000

Responsável pelos projetos na área das telecomunicações e informática no GEPI/MAI, que envolvia o levantamento de necessidades, elaboração de Cadernos de Encargos, participação no júri de avaliação de propostas e acompanhamento do programa de trabalhos e fiscalização. Entre outros projetos destacam-se:

- Implementação da Central de Emergência para o 112 no Comando Metropolitano de Lisboa;
- Elaboração e aquisição de uma solução, para a impressão do Passaporte Português, nos serviços afetos ao Serviço de Estrangeiros e Fronteiras e ao Ministério dos Negócios Estrangeiros;

Participação em fóruns de discussão europeus para discussão sobre modelos de redes de comunicações para as forças de emergência e segurança;

- Participação em fóruns de discussão em Inglaterra, Itália, Finlândia e Alemanha. Visita/Estudo às centrais de comando da Polícia Finlandesa em Helsínquia, Carabinieri em Roma e Scotland Yard em Londres; Visita às centrais de comando em Dortmund e estudo de esquemas de segurança envolvendo equipamentos de vigilância no estádio de futebol do Borussia Dortmund;

> 1998

Representante Português num grupo internacional que reunia 12 nações europeias (nomeadamente, Inglaterra, Bélgica, Holanda, Alemanha, Finlândia) com projetos nacionais de integração das Redes de Emergência e Segurança. O objetivo deste grupo visava a troca de experiências entre as várias congéneres do Ministério da Administração Interna. Essas reuniões foram realizadas no País Basco, em Portugal, na Finlândia, na Holanda, em Inglaterra e na Noruega;

> 1999

Responsável pelo projeto de unificação das redes de comunicações das forças de emergência e segurança (futura rede SIRESP);

CONSULTORIA NA ÁREA DAS TELECOMUNICAÇÕES

> 1999

Consultor nas áreas das telecomunicações e sistemas de informação para arquitetura da rede “Wireless Local Loop” com o propósito de obtenção de uma licença de operação. As licenças foram atribuídas pelo então ICP (Instituto de Comunicações de Portugal) num contexto de concurso público;

> 2002

Projecto nacional da Rede Voz/Dados da operadora de telecomunicações MERCURY em Angola, contratado pela empresa PARTEX/SONANGOL. Esta rede, também de âmbito nacional, pretendia disponibilizar serviço de voz e dados a clientes residenciais e empresariais nas capitais de província em Angola. Devido à guerra civil, a arquitetura da rede foi planeada com base num conjunto de tecnologias e soluções heterógeneas (rádio, filar e satélite) consoante o contexto do local a cobrir;

> 2007 > 2008

Consultor > **Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa.**

- Remodelação da rede de dados do Edifício do antigo DRM (Direcção de Recrutamento Militar) para instalação dos Centros de Investigação;
- Elaboração e execução do projecto de Reestruturação do Centro de Informática.

FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS DA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

> 2000

Início de funções na Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa;

> 2001

Definição do Projeto SIRESP. Este projecto engloba todas as forças de emergência e segurança do MAI (Rede avaliada em cerca de 450.000.000 euros). O Grupo de Trabalho em que participei foi nomeado pelo despacho n.º 3645/2001, de 26 de Janeiro de 2001, de Sua Excelência o Secretário de Estado Adjunto do Ministro da Administração Interna, publicado em 21 de Fevereiro de 2001, no Diário da República n.º 44 – II Série;

> 2001

Criação de Centro de Informática > Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa;

> 2002

Projecto Esculápio > Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa;

- Criação de toda a infraestrutura de Voz e Dados da FCM interligando todos os Edifícios do Campo de Santana;
- Implementação de um Centro de Dados e Telecomunicações como operador de Dados dos departamentos no exterior.

> 2003

Projecto de telecomunicações > Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa.

- Implementação de serviços de telecomunicações (voz, videoconferência), integrados com a rede estruturada de dados;

> 2004

Projecto SIOI > Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa.

- Sistema Informático de Organização da Informação da Faculdade de Ciências Médicas;
- Integração de toda a produção científica da FCM/UNL;
- Produção de indicadores de gestão;
- Construção de sistema de gestão das disciplinas.

> 2006

Projecto de Telemedicina > Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa.

> 2007 > 2016

Chefe Divisão de Informática e de Telecomunicações > Faculdade de Ciências Médicas

da Universidade Nova de Lisboa.



RESUMO DO PERCURSO ACADÉMICO

HABILITAÇÕES LITERÁRIAS

> Fevereiro 2017

Doutoramento com distinção e louvor por unanimidade em Ciências da Vida na especialidade de Saúde das Populações - Bioestatística;

Título da tese: “APLICAÇÃO DAS REDES NEURONAIAS ADITIVAS GENERALIZADAS À MEDICINA”; Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Nova de Lisboa;

> Fevereiro 2009

Provas de Aptidão Pedagógica e Científica com a classificação de “Muito Bom” Título da monografia : “DATAGRID - FUNDAMENTOS”; Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Nova de Lisboa;

> Outubro 1990 > Julho 1996

Licenciatura pré-Bolonha - Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no Ramo de Sistemas Eletrónicos e Computadores Instituto Superior Técnico;

ATIVIDADES ACADÉMICAS

> Outubro 2001 > 2017

Docência nas cadeiras de Bioestatística e Informática, Bioestatística 2, Gestão e Análise de Dados e Informática e Aplicações de Informática Médica Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Nova de Lisboa;

> Fevereiro 2009 > Presente

Membro do Centro de Estatística e Aplicações da Universidade de Lisboa Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa;

CAPÍTULO DE LIVRO

- A. Papoila, C. Rocha, C. Geraldes, and P. Xufre, "Generalized linear models, generalized additive models and neural networks: Comparative study in medical applications", in *Advances in Regression, Survival Analysis, Extreme Values, Markov Processes and Other Statistical Applications*, dec. 2012;

ARTIGOS EM REVISTAS DE CIRCULAÇÃO INTERNACIONAL COM ARBITRAGEM CIENTÍFICA

- C Brás-Geraldes, A Papoila, P Xufre, "Generalized additive neural network with flexible parametric link function: model estimation using simulated and real clinical data", *Neural Computing and Applications*, 1-18
- Papoila AL, Riebler A, Amaral-Turkman A, São-João R, Ribeiro C, Geraldes C, Miranda A. Stomach cancer incidence in Southern Portugal 1998-2006: A spatio-temporal analysis. *Biom J* 2014;56(3):403-415;
- Belo J, Carreiro-Martins P, Papoila AL, Geraldes C, Paiva M, Caeiro E, Ferro R, Coelho M, Leiria-Pinto P. Pollen concentrations and emergency department visits for asthma and wheeze in Lisbon. In: *ALLERGY*. 111 RIVER ST, HOBOKEN 07030-5774, NJ USA: WILEY-BLACKWELL, 2014; 16-16;

ARTIGOS EM ATAS DE CONFERÊNCIAS INTERNACIONAIS COM ARBITRAGEM CIENTÍFICA

- Carlos Bras-Geraldes, Ana Papoila, Patricia Xufre and Fernanda Diamantino, "Generalized Additive Neural Networks for mortality prediction using Automated and Genetic Algorithms", *IEEE 2nd International Conference in Serious Games and Applications for Health*, May, Algarve 2013;

COMUNICAÇÕES ORAIS

- Bras-Geraldes C, Papoila A, Xufre P, Estimation of the odds ratios for continuous covariates using Generalized Additive Neural Networks, 38th Annual Conference of the International Society for Clinical Biostatistics, Vigo, 2017;
- Bras-Geraldes C, Papoila A, Xufre P, Sousa L, Generalized Additive Neural Networks with flexible parametric link function, EURO mini-Conference, Coimbra, 2015.
- Bras-Geraldes C, Papoila A, Xufre P, Sousa L, GANN for mortality prediction: Model selection comparison between Automated Algorithm, Genetic Algorithm and Discrete Particle Swarm Optimization, EURO mini-Conference, Aveiro, 2014.
- Geraldes C, Papoila A, Xufre P, Diamantino F. Generalized Additive Neural Networks for mortality prediction: using Automated and Genetic Algorithms, *IEEE 2nd International Conference on Serious Games and Applications for Health*, Algarve, 2013.

-
- Papoila AL, Riebler A, Amaral-Turkman A, São-João R, Ribeiro C, Geraldés C, Miranda A, Stomach cancer incidence in Southern Portugal 1998-2006: a Spatio-temporal analysis, VI International Workshop on Spatio-Temporal Modelling (METMA), Guimarães, Portugal, 2012.
 - Geraldés C, Papoila A, Xufre P. Prediction in Medicine using Artificial Neural Networks, FCT/UNL, Lisboa, 2011.
 - Papoila A, Rocha C, Geraldés C, Xufre P. Generalized linear models, generalized additive models and neural networks: comparative study in medical applications, XXIV, European Conference on Operational Research (EURO 2011 Lisbon), Lisboa, 2010.
 - Geraldés C, Papoila A, Xufre P, Modelos Lineares Generalizados, Modelos Aditivos Generalizados e Redes Neurais: Estudo Comparativo na área da Medicina, XVII Congresso Anual da Sociedade Portuguesa de Estatística. Sesimbra, 2009.

A N E X O



**DOCUMENTOS COMPLEMENTARES DO *Curriculum*
*Vitae***

I.1 Maxitel SA

I.2 GEPI/MAI

Figura I.1: Declaração de participação do autor deste relatório, como consultor da Maxitel SA. no âmbito do licenciamento de tecnologia FWA.



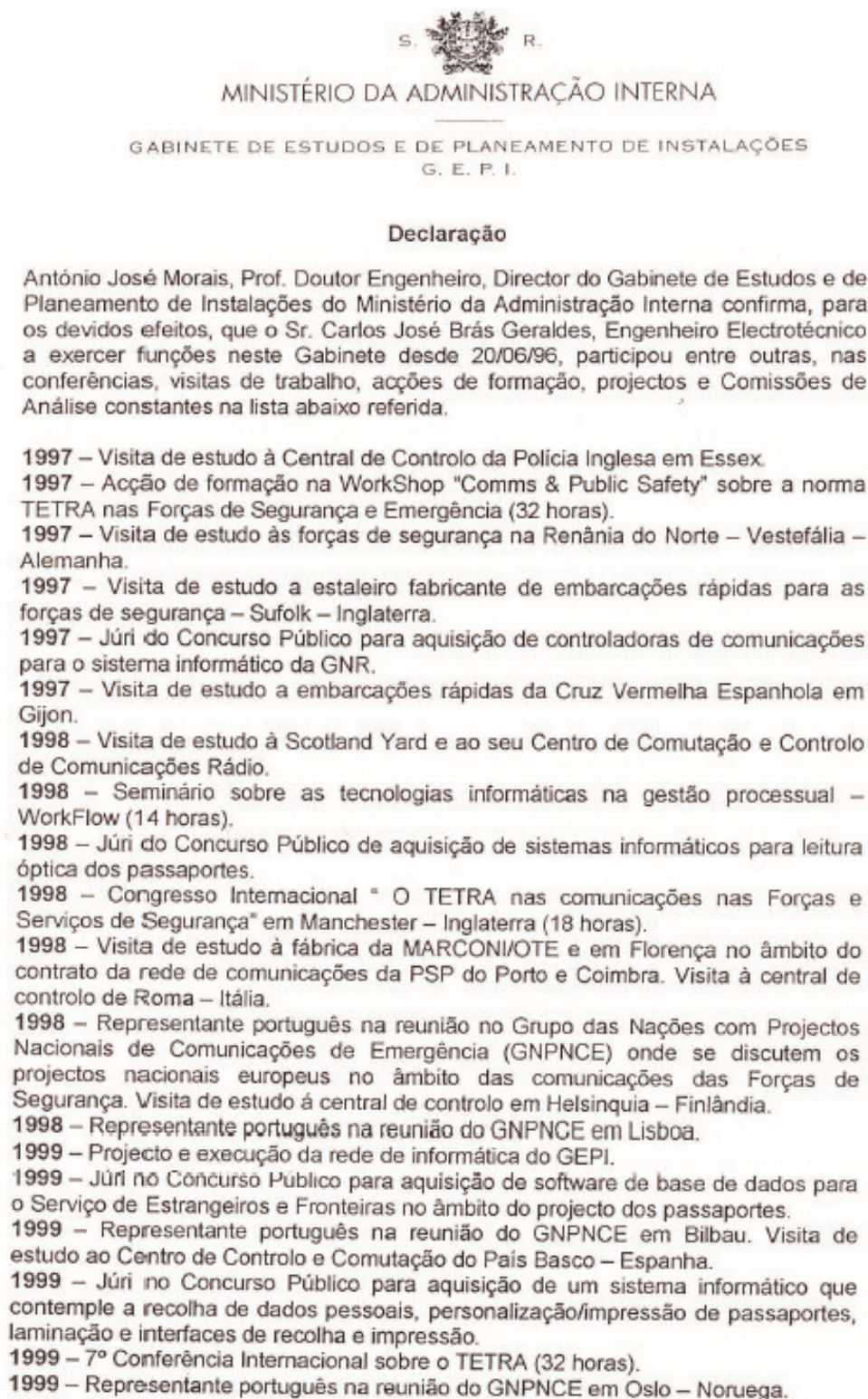
DECLARAÇÃO

Para os devidos efeitos, declaro que o Engº Carlos José Brás Geraldes, participou, na qualidade de consultor para as áreas de Telecomunicações e Sistemas de Informação, no projecto de licenciamento na tecnologia Wireless Local Loop (WLL), com vista à apresentação de uma proposta da MaxitelSat, ao Instituto de Comunicações de Portugal (ICP), com vista à obtenção da referida licença.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Gaspar de Sousa Pinto".

Dr. Gaspar de Sousa Pinto
Vice Presidente

Figura I.2: Declaração sobre o conjunto de iniciativas em que o autor destes trabalho participou.



O Director

(Prof. Doutor Engenheiro António José Morais)





Carlos José Brás Geraldes

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Doutorado em Ciências da Vida - Saúde das Populações

(Bioestatística)

Redes de Comunicações de Emergência e Segurança

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre ao abrigo do
programa "Para ser Mestre" por licenciados "pré-Bolonha" em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Março, 2018



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



Carlos José Brás Geraldes

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Doutorado em Ciências da Vida - Saúde das Populações (Bioestatística)

Redes de Comunicações de Emergência e Segurança

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre ao abrigo do programa “Para ser Mestre” por licenciados “pré-Bolonha” em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Março, 2018

Copyright © Carlos José Brás Geraldes, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.
A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA